

液体微粒化の促進および噴霧特性制御に関する基礎的研究

古 館 仁

要 旨

微粒化技術はさまざまな分野に利用されているが、いずれの分野でも当然、使用目的に適合する噴霧特性が要求されている。例えば、平均粒径では、自動車のガソリン噴霧で平均粒径 $40\sim 80\ \mu\text{m}$ 、ディーゼル噴霧で $20\sim 100\ \mu\text{m}$ 、ボイラー等の燃焼機器で $10\sim 400\ \mu\text{m}$ 、食品等の粉末製造では $30\sim 120\ \mu\text{m}$ の噴霧生成が必要である。したがって、この条件を満たす噴射弁の開発・設計をしなければならない。しかし、二流体噴霧では一定粒径を維持するための液体流量、空気流量の制御は、機構が複雑になり耐久性や信頼性が悪化する。また、気流速度を変化させるために可動部があればやはり耐久性が低下する。一方、圧力噴霧では高噴射圧化による微粒化促進のため機器の厳しい耐圧が必要となっている。そのために機器が大型化し、重量も増加するといった問題も発生する。

これらを改善するため、近年では微粒化された噴霧液滴群の平均粒径、粒度分布、貫通度などを制御すること、また低噴射圧で液体の微粒化特性の促進するという課題が微粒化研究のキーポイントとなっている。

本研究は噴霧特性制御を目的として、流体素子を組込んだ二流体噴射弁の噴霧特性の制御を試みる。さらに、微粒化促進を目的として、ノズル内部のキャビテーション発生・崩壊が噴出した液体の分裂に及ぼす影響を調べることである。

本論文は、上記内容を含んだ第1章の緒論を含め以下の各章より成る。

第2章は、実験装置概略、流体素子を組込んだ二流体噴射弁、単一噴孔の円筒ノズルおよび2Dノズルの寸法形状について述べている。

第3章は、噴霧の平均粒径を制御するため流体素子を組込んだY-ジェット式二流体噴射弁の噴霧特性について述べている。流体素子は、可動部を持たないために高い耐久性や信頼性を有している。この噴射弁は、良好な粒径を噴出させる小噴孔(SP)と比較的粗大な粒径の噴霧を生成する大噴孔(LP)の2種類の異なる大きさの噴孔をもっている。流体素子は供給液体流量が増加するとSPに多くの割合で液体が流れるというように、2種類の噴孔に液体の分配を制御するため採用されている。流体素子によってそれぞれの噴孔に液体を分配するのに適合することおよび平均粒径を一定に制御できることを明らかにした。また、異なる流体素子のスプリットオフセットの場合と比較して、1段目流体素子スプリットオフセット $-0.5\ \text{mm}$ 、2段目の流体素子スプリットオフセット $+0.6\ \text{mm}$ を噴射弁に組込むと最大最小液体流量比(ターンダウン比)4でも平均粒径を $70\ \mu\text{m}$ と一定に保つことができる。

第4章では、円筒ノズルの寸法形状がノズル内部の液流の乱れと噴出した液体の分裂および圧力変動に及ぼす影響について述べている。

L/D (噴項長さと噴孔径の比) の値が大きいノズル ($L/D=20$) では発生したキャビテーション

学位記番号と学位: 第21号, 博士(工学)

授与年月日: 平成16年3月20日

授与時の所属: 大学院工学研究科機械システム工学専攻博士後期課程

気泡がノズル上流部で崩壊する。そのために、ノズル下流部では乱れが減衰するために噴出した液体の分裂は促進されていない。それに対して、 L/D が小さい($L/D=3$) 場合、ノズル内全体でキャビテーションが発生し、そのために噴孔入口から出口まで十分に液流が乱れていることを確認した。この場合、ノズルから噴出した液体の分裂がより促進されていることがわかった。また、 L/D が小さい場合、波状流から噴霧流へ遷移する流速はキャビテーション気泡の発生・崩壊による乱れの影響から遅くなっている。

第5章は、2D ノズルの寸法がノズル内部の液流の乱れと噴出した液体の分裂および圧力変動に及ぼす影響について述べている。

次に 2D ノズルの場合についても同様に、 L/W (噴孔長さ/噴孔幅の比) がキャビテーションの発生と液体(液膜)の分裂模様に関与する影響を調べた。 L/W が大きい場合には、ノズル上流部でキャビテーションが発生・崩壊するために、ノズル出口では乱れが減衰し、分裂が促進されないことがわかった。また、 L/W が小さい場合には、ノズルの急縮小部で発生した縮流が再付着するときの乱れ等の原因で、噴出した液膜が分裂することがわかった。また、2D ノズル内の液流の乱れと噴出した液体の分裂模様は円筒ノズルの実験結果と相似となっていることがわかった。

さらに、ノズル内の圧力変動がノズル内液流の乱れと噴出した液体の分裂に関与する影響を調べた。その結果、 L/W が大きい場合、ノズル入口部では負圧であるが、ノズル出口付近では大気圧まで上昇しており、液流の乱れも減衰している。そのため、液体表面は乱れているものの噴出した液体の分裂は促進されていない。

L/W が小さい場合、ノズル内全体で負圧であり、ノズル出口付近でも負圧を維持している。またノズル内液流の乱れは出口付近でも減衰していない。そのため、噴出した液体は激しく分裂しており、周囲には液滴が飛散している様子が確認された。

第6章の総括は以下のとおりである。

(1) 流体素子を組込んだ二流体噴射弁を用いることにより、噴霧特性の制御が可能であることを確認した。

(2) 大小2種類の噴孔を持つ二流体噴射弁に流体素子を組込むと、各噴孔に供給する液体流量を制御することが可能である。また、適切な流体素子寸・法形状であれば、供給流量が増加しても平均粒径の増大は押えられる。

(3) ノズル内に発生するキャビテーションは、液体微粒化促進に効果的である。とくに低噴射圧でもノズル内キャビテーションに起因する乱れを利用することで、微粒化促進は十分可能である。

(4) 圧力噴射弁のノズル寸法が適切であれば、噴孔内のキャビテーション発生・崩壊による乱れはノズル出口まで維持される。この場合、噴出した微粒化は促進される。

主指導教員 野田英彦

Fundamental Study on Promotion of Liquid Breakup and Control of Spray Characteristics

Hitoshi FURUDATE

Abstract

Spray Technology is widely used in industrial applications such as internal combustion. Thus, the performance of atomization is strongly affected by the breakup process of liquid, and control of spray characteristics has been needed.

The main purpose of this study is control of spray characteristics and promotion of liquid breakup. The objective of this study is to investigate the spray characteristics of the airblast atomizer embedding fluid amplifier system and to investigate the effect of the generation and collapse of cavitation in a nozzle on the breakup of liquid.

This dissertation consists of the following chapters.

The chapter 1 is introduction, and in the chapter 2, Experimental setup, y-jet type airblast atomizer embedding fluid amplifier system, dimensions of cylindrical nozzle and 2D nozzle is described.

In chapter 3, the spray characteristics of the Y-jet-type airblast atomizer which uses an embedded fluid amplifier system to control mean droplet diameter are described. The fluid amplifier has high reliability and durability for controlling the liquid flow since it has no moving part. The atomizer has two kinds of port, one with a smaller inner diameter which discharges fine droplets and the other with a larger inner diameter which discharges relatively coarse droplets. A bistable fluid amplifier was adopted which controls liquid distribution to the two ports so that the amount of liquid flowing into the smaller port increases as the total liquid flow rate increases. It was demonstrated that the fluid amplifier is effective in adjusting the liquid distribution to the respective ports, and that the atomizer can maintain the Sauter mean diameter at a constant value. Comparing atomizers with different amplifier dimensions, a constant mean diameter of 70 microns was obtained with a turndown ratio of 4 while the splitter offsets of the first and second amplifiers were -0.5 mm and $+0.6$ mm, respectively.

In chapter 4, the effects of a cylindrical nozzle dimensions on liquid breakup and behavior inside nozzle are described. When length-to-diameter ratios is high ($L/D=20$), cavitation bubbles generate only upstream of the nozzle passage. The absence of cavitation bubbles downstream results in a relatively undisturbed jet issuing from the nozzle. In contrast, at $L/D=3$ bubbles generate throughout the nozzle, and the flow inside the nozzle is significantly disturbed by cavitation from the inlet to the outlet of the nozzle. This situation effectively promotes breakup of the issuing jet. It is also found that at low L/D , the transition velocity

from wavy jet to spray is low due to the generation and the collapse of cavitation bubbles.

In chapter 5, the effects of the 2D nozzle dimensions on the liquid breakup and pressure variation are investigated. When L/W of the 2D nozzle is low, disturbance of the liquid flow due to cavitation inside nozzle is maintained from the inlet to the outlet of the nozzle, significantly promoting breakup of the issuing jet. The similarity between the cylindrical nozzle and the 2D nozzle are found for the disturbance inside the nozzle and the breakup of issuing liquid jet.

Next, effect of pressure inside nozzle on disturbance of liquid flow inside nozzle and disintegration of liquid jet is investigated. It is found that at a large L/W (length-to-width ratio), the pressure in the nozzle entrance region is lower than atmospheric pressure and cavitation bubbles no longer appear in the middle of the nozzle. The smaller pressure variation value in the nozzle outlet results in less disturbance of the liquid flow inside the nozzle and liquid breakup. At a small L/W , the pressure in the nozzle entrance region becomes lower, approaching the saturated pressure of water. Furthermore, the pressure throughout the nozzle is lower than atmospheric pressure, with a larger pressure variation than for the former case. Thus, disturbance of the liquid flow due to cavitation is maintained from the inlet to the outlet of the nozzle, significantly promoting breakup of the issuing jet.

Chapter 6 concludes and summarizes the results of this study. The main points are as follows :

- (1) It is possible to control spray characteristics by using twin fluid atomizer embedding fluid amplifier.
- (2) Control of liquid distribution by the fluid amplifier is effective in keeping the mean diameter constant.
- (3) It is possible to promote liquid breakup by cavitation inside nozzle.
- (4) Disturbance of liquid flow caused by generation and collapse of cavitation inside the nozzle are maintained if nozzle dimensions are suitable. In this case, breakup of issuing liquid jet is promoted.

Professor (Director of dissertation) Hidehiko NODA